**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ**

**СУМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра физической электроники

**РЕФЕРАТ**

по курсу: ''ЭДСС''

на тему: ''Магнитные материалы для микроэлектроники''

Выполнил

студент группы ФЭ-01 Захаров И. В.

СУМЫ - 2003

**План**

**ВВЕДЕНИЕ**

**МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВ НА ЦМД**

**МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МАГНИТООПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ**

**ПЛЕНКИ ДЛЯ ТЕРМОМАГНИТНОЙ ЗАПИСИ ВВЕДЕНИЕ**

С прогрессом электронной техники предъявляются новые требования к магнитным материалам. Это обусловлено и миниатюризацией устройств, и необходимостью разработки запоминающих и логических элементов большой емкости и быстродействия при малом весе. Необходимы магнитные материалы, прозрачные в оптическом и ИК-диапазоне, обладающие большой коэрцитивной силой, намагниченностью насыщения, сочетающие в себе магнитные и полупроводниковые свойства. Многие такие материалы можно создать на основе редкоземельных материалов.

**МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УСТРОЙСТВ НА ЦМД**

Для генерирования цилиндрических магнитных доменов используются тонкие магнитные пленки феррит-гранатов R3Fe5O12 и ортоферритов RFeO3. Первые содержат домены с размерами до 1 мкм, что позволяет получить плотность размещения информации до 107 бит/cм2, вторые обладают рекордно высокими скоростями

передвижения до 104 м/с.

Идея записи на ЦМД состоит в том, что двоичное число можно представить цепочкой ЦМД, где логическая "1" - наличие ЦМД, "О" - отсутствие. Осуществление логических операций с помощью ЦМД-устройств основывается на возможности движения ЦМД в пленке в двух, трех и т.д. направлениях.

В технике обычно используются монокристаллические пленки, выращиваемые на немагнитной подложке, кристаллическую структуру и постоянную решетки подложки подбирают в соответствии с требуемой структурой получаемой пленки.

В последнее время начали использовать аморфные магнитные пленки сплавов переходных металлов с РЗ металлами типа Gd-Go и Gd-Fe, в которых возможно получение ЦМД с диаметром < 1 мкм, что позволяет повысить плотность записи информации до 109 бит/см2. Их отличают также простота изготовления, относительно низкая стоимость. Недостатком таких пленок является их низкая термостабильность.

Все материалы-носители ЦМД характеризуются большой одноосной магнитной анизотропией. Чем больше поле ани­зотропии, тем ближе направление намагниченности ЦМД к норма­ли плоскости пластины и тем меньше отклонение формы стенок ЦМД от цилиндрической., Для одноосных кристаллов напряжен­ность поля анизотропии, необходимая для зарождения изолирован­ного домена, оценивается по формуле



где *К*, — константа одноосной анизотропии, составляющая в сред­нем для ЦМД-материалов 103—104 Дж/м3; ls - намагниченность насыщения, равная при комнатных температурах в среднем 104А/м.

В ЦМД-материалах Hа=105-М07 А/м. В ряде ЦМД-материалов наблюдаются небольшие отклонения от одноосности, обусловлен­ные орторомбической и кубической симметрией вещества.

Отношение поля анизотропии к намагниченности насыщения определяет фактор качества магнитоодноосного кристалла:



Фактор качества — количественная оценка жесткости ориента­ции магнитного момента домена в направлении нормали к плоско­сти пластины — должен быть существенно больше единицы. На практике требуется иметь значения *q* не менее 3—5. Верхний пре­дел ограничен требуемым быстродействием устройств (см. ниже).

Для оценки свойств материалов, содержащих ЦМД, введено понятие характеристической длины *10*



где—удельная энергия доменной границы, Дж/м2; A'—A/а — обменная константа, примерно равная для ЦМД-материалов 10~10— 10-11 Дж/м.

Характеристическая длина lо имеет размерность длины и связа­на с толщиной *h* пластины и диаметром *D* домена. С точки зрения увеличения плотности размещения информации желательно, чтобы диаметр домена был как можно меньше. Минимально достижимый диаметр домена при заданном материале Amin=3,9\*lo имеет место для пластин (пленок) толщиной A = 3,3lо. В технических устройст­вах, где используют ЦМД, рекомендуется выбирать h~4\*l0, так как при этом способность доменов восстанавливаться после флуктуации наиболее сильно выражена. При h = 4\*l0 поле, соответствующее се­редине области устойчивых цилиндрических доменов, H=0,28l3> а диаметр доменов в этом поле D —8l0.

Уменьшение размера ЦМД достигается применением материа­лов с малым lо. Из следует, что увеличение намагниченности материала способствует этому в большей степени, чем снижение *А .*

Действительно, снижение фактора качества qухудшает условия статической устойчивости ЦМД. Уменьшение обменной константы *А'* нецелесообразно, поскольку при этом снижается температурная устойчивость ЦМД. Минимальный размер домена, полученный в настоящее время в аморфных и гексагональных ферромагнетиках, составляет около 0,08 мкм. Температурный диапазон устойчивости ЦМД-структур достаточно широк (—50 + 60° С). Точка Нееля большинства современных ЦМД-материалов лежит в пределах 560—720 К.

Важной характеристикой материалов для ЦМД-устройств яв­ляется коэрцитивная сила *Нс,* во многом определяющая подвиж­ность доменов. Чем меньше *Не,* тем выше быстродействие ЦМД-устройства. Скорость перемещения домена также зависит от подвижно­сти доменной границы urp. игр об­ратно пропорциональна фактору качества q*.* Поэтому материалы, обладающие большими значениями *q,* не отвечают требованиям вы­сокого быстродействия ЦМД-устройств.

ЦМД могут быть получены во многих магнитных материалах, обладающих сильной одноосной анизотропией.

***Ортоферриты RFeO3*** — первые материалы, на которых были изу­чены ЦМД. В настоящее время эти материалы в промышленных ЦМД-устройствах практически не применяются, поскольку диаметр ЦМД ортоферритов порядка 80—100 мкм не позволяет обеспечить высокую плотность записи информации. Однако в ряде случаев ор-тоферриты, обладающие высокими магнитооптическими параметра­ми, сохранили свои позиции. Их применяют в виде пластинок, выре­занных определенным образом из монокристалла и доведенных по­средством механической полировки до нужной толщины.

Монокристаллы ортоферритов получают обычными способами (см. § 2.20). Одним из наиболее перспективных считают выращи­вание монокристаллов из расплава с применением бестигельной зонной плавки и радиационного нагрева. Этот метод включает из­готовление исходных для выращивания монокристаллов поликри­сталлических заготовок в виде цилиндрических стержней методами керамической технологии. Процесс кристаллизации осуществляется следующим образом. Из предварительно полученного любым мето­дом монокристалла вырезают вдоль определенного кристаллогра­фического направления затравку, которую закрепляют на керами­ческом или сапфировом держателе. По оси затравки с высокой точ­ностью устанавливают исходный поликристаллический стержень. Камера герметизируется, продувается и подключается к системе давления кислорода. Затравку и питающий стержень приводят во вращение, сближают до минимального расстояния и нагревают по определенному режиму. В месте сближения затравки и стержня образуется расплавленная зона. При медленном (5—10 мм/ч) перемещении стержней относительно зоны па затравке начинается кристаллизация. После окончания процесса выращивания кристалл подвергают отжигу для уменьшения Heизвлекают из кристаллизационной камеры и отрезают от затравки. Таким образом можно получить монокристаллы в виде цилиндров диаметром до 8 мм и длиной до 80 мм.

***Ферриты-гранаты*** со структурной формулой RзFе5012 содержат домены с диаметром порядка не более нескольких микрометров, что позволяет получить плотность размещения информации 105 бит/см2 и даже выше. Однако подвижность доменных границ этой группы материалов ниже, чем у ортоферрптов, и приблизитель­но равна 0,025 м2/(А-с).

Толщина пластинок из ферри­тов-гранатов должна быть порядка микрометра.

Такие тонкие пластины механической обработкой получить нельзя. Поэтому вместо пластин применяют монокристаллические пленки, изготовляемые эпитаксиальным методом — наращиванием пленки па немагнитной подложке. Кристаллическую структуру и постоянную решетки подложки подбирают в соответствии с требу­емой структурой получаемой пленки.

Изготовление пленок эпитаксиальным методом производят пу­тем химического осаждения металлов, входящих в состав граната, в виде галогенидных паров на монокрпсталлпческую немагнитную подложку либо путем погружения подложки и расплав соответст­вующих оксидов граната.

Способ эпитаксии из газовой фазы обеспечивает получение пле­нок более высокого качества, однако эпитаксия из жидкой фазы не требует сложных установок и более технологична. Промышленное изготовление тонких пленок производят методом изотермической эпитаксии из переохлажденного расплава.

Недостаток эпитаксиальных пленок заключается в сравнительно высокой стоимости изготовления и обработки подложки. Необходи­мая для образования ЦМД одноосная анизотропия возникает в процессе технологии изготовления пленок и обусловлена механи­ческими напряжениями, которые появляются из-за неполного со­ответствия постоянных решетки подложки и эпитаксиального слоя, а также вследствие влияния небольших примесей свинца пли вис­мута, которые попадают в пленку из расплава.

Для подавления твердых ЦМД принимают специ­альные технологические меры, направленные на создание опреде­ленной структуры доменной стенки: ионное внедрение или покрытие поверхности пленки феррита-граната тонкой пленкой пермаллоя. При ионной имплантации вследствие бомбардировки пленки иона­ми с высокой энергией на ее поверхности образуется замыкающий магнитный слой толщиной меньше 1 мкм, намагниченность которо­го вследствие возникающих механических напряжений направле­на перпендикулярно намагниченности ЦМД и лежит в плоскости пленки. На­иболее простым способом подавления твердых ЦМД является отжиг пленок в инертной среде при 1100° С.

Аморфные магнитные пленки сплавов переходных металлов с редкоземельными металлами типа Gd-Co и Gd-Fe являются срав­нительно новыми перспективными доменосодержащими материала­ми с диаметром ЦМД меньше 1 мкм, что позволяет повысить плотность записи информации до 109 бит/см2. Их отличают также простота изготовления, относительно низкая стоимость, поскольку свойства аморфных материалов в отличие от эпитаксиалыных пле­нок слабо зависят от материала и качества подложки.

***Магнитоупорядоченные интерметаллическне пленки*** GdCo3 и GdFe2 обеспечивают существование устойчивых ЦМД при опреде­ленном соотношении между компонентами состава, определенной толщине пленки и соответствующих условиях выращивания. Плен­ки производят чаще всего методом радиочастотного распыления на подложки из стекла пли электролитическим осаждением па под­ложки из меди.

***Гексагональные ферриты*** со структурными формулами характеризуются высокой намагниченно­стью насыщения, высоким фактором качества, но их низкая подвижность ограничивает область применения этих материалов.

**МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МАГНИТООПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ**

    Ряд веществ, в том числе ферромагнетики, обладают магнитной оптической активностью. Наведенная магнитным полем оптическая активность проявляется и двух эффектах - Фарадея и Керра. Эффект Фарадея сводится к повороту плоскости линейной поляризации светового луча, проходящего через магнитооптическую среду. Угол поворота при направлении магнитного поля вдоль луча пропорционален напряженности магнитного поля. Нечто похожее наблюдается и при отражении линейно поляризованного луча света от поверхности ферромагнитного материала в присутствии магнитного поля. Этот эффект именуют эффектом Керра. Прошедший или отраженный свет несет, таким образом, информацию о текущем значении напряженности магнитного поля на поверхности ферромагнитного материала, зафиксированную углом поворота плоскости поляризации луча.

       Модуляцию луча по поляризации следует преобразовать в модуляцию но интенсивности. Эта операция может быть выполнена чисто оптическими средствами. .Для этого достаточно магнитооптический элемент поместить (по лучу) между скрещенными поляризаторами (направления пропускания линейно поляризованного света поляризаторов перпендикулярны). Систему скрещенных поляризаторов принято называть поляризационным микроскопом. Эта система, в принципе, не пропускает свет. Однако, если в такой микроскоп ввести оптически активную среду, то часть света, пропорциональная квадрату синуса угла поворота плоскости поляризации, пройдет через систему. Итак, с помощью эффекта магнитооптической активности удается промодулировать свет по интенсивности приблизительно пропорционально квадрату напряженности магнитного поля. Магнитооптические эффекты применяются при считывании информации с магнитооптических дисков.

РЗ ортоферриты и ферриты-гранаты являются одними из лучших магнитооптических (МО) материалов, что обусловлено высокой прозрачностью для видимого и ближнего ИК-диапазонов, значительной величиной эффекта Фарадея и большим значением коэффициента оптической добротности (отношение угла фарадеевского вращения к коэффициенту поглощения). Монооксид европия обладает рекордными значениями величины фарадеевского вращения (до 106 градЧ см), что делает его очень перспективным для применения в качестве магнитооптического материала.

Принцип действия магнитооптических устройств основан на использовании различных магнитооптических эффектов (Фарадея, Керра) в доменных структурах, перестраиваемых под воздействием внешних полей (тепловых, магнитных и т.д.).

Например, МО-модулятор осуществляет пространственную модуляцию световой волны при прохождении ее через перемагничиваемую доменную структуру тонкой магнитной пленки. Принцип модуляции основан на периодическом повороте плоскости поляризации света в пленке при подаче периодического управляющего сигнала в обмотку управления. Полученную фазовую модуляцию светового пучка с помощью анализатора преобразуют в амплитудную.

Из других МО-устройств можно выделить оптические ЗУ, МО-устройства сканирования света и ряд других.

Пригодность магнитных материалов для создания на их основе магнитооптических устройств зависит от совокупности магнитооп­тических свойств.

Магнитооптические свойства оценивают по магнитооптической активности в диапазоне оптических волн с учетом возможной их анизотропии.

Магнитооптическую активность характеризуют с помощью угла удельного фарадеевского вращения ­­­­­­\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ и коэф­фициента поглощения:

где *d* — толщина образца; I0, I1 — соответственно интенсивности па­дающего и прошедшего кристалл света.

***Феррогранаты*** имеют окно прозрачности в диапазоне волн 1,15— 5 мкм. Наиболее перспективными материалами являются чистые железоиттриевые гранаты (ЖИГ) и висмутосодержащие гранаты, в которых часть иттрия заменена на висмут.

Синтезированиеэпитаксиальных пленок ферритов-гранатов, включающее подбор состава исходных пленок и подложки, выбор оптимальной обработки (отжига), обеспечивает получение материа­лов с высокими магнитооптическими свойствами, различающихся по намагниченности, коэрцитивной силе, анизотропии, подвижности доменной стенки и т. п.

***Ферриты-гранаты*** являются основными магнитооптическими ма­териалами в инфракрасной области. Для видимого света они мало пригодны. Имеются данные об использовании высококачественных пленок ферритов-гранатов в видимом свете .

Однако при реализа­ции устройств на этих материалах надо иметь в виду следующие особенности. Технология производства ортоферптов не позволяет изготавливать очень тонкие пластины (меньше 1 мкм). Именно по этой причине ортоферриты применяют при λ>0,5 мкм, хотя имеются данные о том, что и при λ = 0,45 мкм их оптические свойства выше свойств MnBi-пленок. Оптимальная толщина пластин ортоферритов для λ=0,63 мкм со­ставляет 60—90 мкм. Вторая особенность связана с оптической ани­зотропностью ортоферритов, обусловленной низкой симметрией ромбической ячейки. Для исключения явления двулучепреломления пластины из ортоферритов вырезают нормально к оптической оси. При этом реализуется устойчивая полосовая доменная структура, а не ЦМД. Установлено, что в очень тонких пластинах при толщи­нах порядка 1 мкм двулучепреломление незначительно, и матери­ал можно в этом случае считать изотропным. Введение в ортоферрит ионов редкоземельных элементов значительно повышает изо­тропность их оптических свойств.

***Феррошпинели***, содержащие ионы Со2+ в тетраэдрических позициях используют в качестве магнитооптических материалов при λ= 5 - 12 мкм, где они обладают высокой прозрачностью и большим θ (до 105 град/см). Это практически единственные материалы, пригодные для создания магнитооптических устройств в этом диапазоне волн.

**ПЛЕНКИ ДЛЯ ТЕРМОМАГНИТНОЙ ЗАПИСИ**

#### Термомагнитный эффект

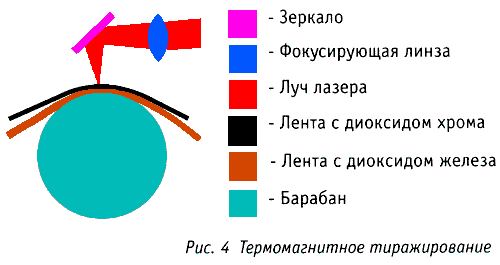
       Магнитные свойства ферромагнетиков существенно зависят от температуры. Достаточно точно эта зависимость описывается законом Кюри-Вейса: µ=С/(ТК - Т), где С - некоторая константа (константа Кюри), зависящая от материала, ТК - температура (точка) Кюри. Закон обратной зависимости магнитной восприимчивости парамагнетиков от температуры установлен в 1895 г французским физиком П.Кюри. Позже, в 1907 г другой француз П.Вейс уточнил закон применительно к ферромагнетикам.

       По закону Кюри-Вейса при Т, стремящимся к ТК, магнитная восприимчивость расходится (становится бесконечно большой). Это не должно смущать, поскольку Тк - особая точка. При температуре Кюри происходит переход вещества из парамагнитной фазы в ферромагнитную. При температуре ниже точки Кюри вещество является ферромагнетиком, выше - парамагнетиком. При приближении (снизу по температуре) магнитная восприимчивость µ резко возрастает. Этот процесс поясняется рис. 3.



       По мере роста температуры возрастает крутизна наклонных участков петли гистерезиса (соответственно, и |i). При этом уменьшается коэрцитивная сила и максимальная остаточная намагниченность, а отношение ВН/НК растет. Все это ведет к резкому росту эффективности записи.

       Естественно, эти особенности магнитных свойств ферромагнетиков вблизи точки Кюри заинтересовали изобретателей. Среди материалов, пригодных для записи на ленточный носитель, наименьшей температурой фазового перехода обладает диоксид хрома. Точка Кюри этого материала составляет 128 °С (у гамма-оксида железа, например, температура Кюри составляет 650 °С). Она достаточно велика, но тем не менее, в сочетании с точечным лазерным подогревом материала, гамма-оксид железа может применяться на практике. В качестве примера на рис. 4 приведена схема лазерного подогрева при термомагнитном тиражировании магнитных записей.



       К барабану прижаты две ленты: снизу с носителем из гамма-диоксида железа - оригинал, сверху с диоксидом хрома - копия. Ленты соприкасаются рабочими слоями. Сфокусированный луч лазера разогревает рабочий слой ленты-копии до температуры немного выше точки Кюри. Температура разогретой точки (точнее штриха с длиной, равной ширине дорожки записи) достаточно быстро остывает за счет тепловой диффузии. При переходе через точку фазового перехода, когда магнитная восприимчивость сверхвысокая, рабочий слой ленты-копии легко намагничивается. При дальнейшем остывании магнитная восприимчивость быстро уменьшается и запись относительно слабых полей, создаваемых лентой-оригиналом, становится невозможной. В процессе транспортировки лент оригинала и копии зона записи перемещается. Скопированная сигналограмма зеркальна по отношению к сигналограмме оригинала. Поэтому запись оригинала ведется так, чтобы формировалась сигналограмма, зеркальная по отношению к стандартной. Скорость тиражирования прямо зависит от мощности лазера. Реально удалось реализовать тиражные машины со скоростями копирования в 300 и более раз выше номинальной.

       Термомагнитиая запись также широко применяется в системах записи на магнитооптические диски. В этом случае зона мгновенной записи совпадает со световым пятном, разогревающим термо-магнитный материал. Магнитное поле при этом может быть рассеянным в области, значительно превышающей снеговое пятно, и должно быть достаточно слабым, чтобы нс воздействовать на неосвещенные участки.

Для создания конкретных технических устройств с термомагнит­ной записью в качестве материалов используют ферромагнитные и ферримагнитные пленки с разнообразными термомагнитными ха­рактеристиками. Под влиянием температуры в различных материа­лах может изменяться намагниченность, коэрцитивная сила, ани­зотропия и другие параметры.

Принято классифицировать магнитные материалы для тер­момагнитной записи по типу термомагнитного эффекта, который при этом используется.

***Материалы для записи в точке Кюри***. Их применение основано на использовании температурной зависимости спонтанной намагни­ченности вблизи точки Кюри 0.

Эта группа материалов состоит из металлических пленок с силь­ной перпендикулярной анизотропией, классическим представителем которой является маргапцево-впсмутовая пленка (MnBi), обеспечи­вающая плотность записи порядка 106 бит/см2.

Монокристаллические марганцево-висмутовые пленки изготав­ливают напылением на подложку из слюды слоев Bi и Мп, поверх которых для защиты пленки от разложения и для снижения потерь на отражение наносят слой SiO определенной толщины. Для полу­чения однородного слоя соединения MnBi эту многослойную струк­туру отжигают при Т = 300° в течение 70 ч в вакууме, в результате чего образуется пленка с низкотемпературной фазой (гексагональ­ной кристаллической структуры), причем ось легкого намагничива­ния ориентирована перпендикулярно подложке.

При локальном нагревании участка пленки выше точки Кюри (Т»360°С) происходит временная потеря намагниченности. Маг­нитное поле напряженностью 24 кА/м, приложенное перпендику­лярно поверхности пленки, обеспечивает полное перемагничивание этого локального участка при сохранении исходной намагниченно­сти других.

***Материалы для записи в точке компенсации Тк.*** Их применение основано на использовании температурной зависимости коэрцитив­ной силы ферромагнетика вблизи точки компенсации.

Если нагреть ферромагнетик, состоящий из двух противопо­ложных по намагниченности магнитных подрешеток, до темпера­туры, равной точке компенсации, то наблюдается резкое возраста­ние анизотропии и коэрцитивной силы. Небольшое отклонение от *Тк* приводит к значительному падению Нс и уменьшению поля за­рождения доменов обратной намагниченности.

Группа этих материалов весьма многочисленна.

***Материалы для записи в точке переориентации***. Их применение основано на эффекте переориентации спинов под воздействием на­грева до определенной температуры слабых ферромагнетиков с низ­кой симметрией, что приводит к изменению направления оси лег­кого намагничивания, а следовательно, и к повороту вектора намаг­ниченности.

Перспективными материалами этой группы являются ортоферри-ты со значительной перпендикулярной анизотропией. В исходном состоянии век­тор намагниченности по всей пленке расположен перпендикулярно ее поверхности. Нагрев материала выше точки переориентации приводит к локальному развороту вектора намагничен­ности в плоскость пленки. После остывания под действием сильно­го поля анизотропии и небольшого поля записи этот вектор возвра­щается в исходное состояние, причем его направление на участке записи противоположно ориентации векторов намагниченности дру­гих участков пленки. Эти материалы позволяют осуществлять запись при комнатной температуре с высокой чувствительностью при достаточной надежности считывания.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Преображенский, Бишард. Магнитные материалы и элементы. 1986г.
2. журнал "Звукорежиссер" 6/2001, с. 3-9
3. [www.phys.ru](http://www.phys.ru)